

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 01.09.2025 15:11:42
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736106686e9821816f0

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



И.Г. Игнатова

«13» сентября 2020 г.

М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ»**

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и наноэлектроника»

2020 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих профессиональных компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК- 1 «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция: Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки

Трудовые функции: А/01.6 «Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки» и А/02.6 «Определение основных статических и динамических характеристик стандартных ячеек библиотеки»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.ФКС «Способен строить физические и математические модели электромагнитных и тепловых процессов в конденсированных средах, используемых при создании элементов и приборов наноэлектроники»	- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; - математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования;	Знать: - основные электрические, тепловые и магнитные свойства твёрдых тел; Уметь: - делать количественные оценки электрических, тепловых и магнитных параметров твёрдых тел при определённых условиях; Иметь опыт: - составления математической модели для описания электрических, тепловых и магнитных свойств твёрдого тела

Компетенция ПК-2 «Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Обобщенная трудовая функция: Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Трудовые функции: С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2.ФКС «Способен определять электронные параметры конденсированных сред, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники, по полученным результатам экспериментальных измерений	<ul style="list-style-type: none"> - анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; - участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств; 	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - физические основы измерительных методик для определения параметров р-п переходов и контактов металл-полупроводник <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вычислять электрические параметры твердых тел по наблюдаемым экспериментальным данным; <p>Иметь опыт:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обработки экспериментальных данных

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математический анализ; Физика. Электричество и магнетизм; Физика. Атомная физика и строение вещества; Теория вероятностей и математическая статистика; Квантовая механика, Физические основы электроники, материалы электронной техники

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	5	180	32	16	16	80	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Электрические свойства проводников и полупроводников	8	–	6	16	Опрос
2. Колебания решетки и тепловые свойства кристаллов	8	–	2	16	Опрос
3. Электрические свойства диэлектриков.	6	–	4	14	Опрос Коллоквиум
4. Магнетизм и сверхпроводимость	10	–	4	14	Опрос Сдача решений практикоориентированных задач
5. Лабораторный практикум	–	16	–	20	Подготовка, выполнение и защита лабораторных работ

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1,2	4	Электронный газ в кристаллах. Классификация твердых тел на металлы, полуметаллы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Классическая модель электронного газа: время свободного пробега, длина свободного пробега, средняя скорость, подвижность, проводимость, плотность тока. Блоховские осцилляции. Зависимость электропроводности и диэлектрической проницаемости от частоты. Плазменные колебания и колебания плазмы (закон дисперсии поперечных колебаний электромагнитного поля в плазме). Эффект Холла. Холловское сопротивление в двумерных системах, условие квантования.
	3	2	Распространение электромагнитных волн в проводнике. Скин-эффект, толщина скин-слоя. Коэффициент отражения электромагнитных волн от металла, предел Хагена -Рубенса. Объемный и поверхностный плазмоны. Эквивалентная электрическая схема кристалла.

	4	2	Квантовый электронный газ. Функция распределения. Энергия и импульс Ферми при нулевой температуре. Теплоемкость электронного газа. Сравнение описания кинетических свойств электронного газа в классической и квантовой теории (электрический ток, закон Видемана-Франца). Топологические фазы материи. Нобелевская премия по физике 2016 г. Квантовый электронный газ в задачах астрофизики: белый карлик и нейтронная звезда.
2	5	2	Колебания решетки. Классификация твердых тел по типу химической связи. Гармоническое приближение для описания колебаний атомов. Функция Лагранжа и уравнения движения для упругих колебаний решетки. Моды колебаний кристалла. Акустические и оптические моды колебаний на примере одномерного кристалла с двумя атомами в базисе.
	6	2	Фононы. Переход к квантовомеханическому описанию колебаний кристалла. Энергия и функция распределения фононов. Операторы рождения и уничтожения фононов. Комбинационное рассеяние света
	7	2	Тепловые колебания кристалла. Теплоёмкость решетки при низких температурах. Температура Дебая. Теплоемкость решетки при высоких температурах. Теории теплоёмкости Дебая и Эйнштейна. Дифракция волн на колеблющейся решетке. Фактор Дебая-Уоллера и эффект Мессбауэра.
	8	2	Ангармонические эффекты в кристаллах. Тепловое расширение твердых тел. Тепловое расширение и взаимодействие фононов. Критерий Линдемана для температуры плавления. Теплопроводность решетки. Зависимость ширины запрещенной зоны полупроводников от температуры. Нулевые колебания. Квантовый кристалл. Электрон-фононное взаимодействие
3	9, 10	4	Отклик кристалла на внешнее электрическое поле. Диэлектрические поляризуемость и восприимчивость. Локальное поле, формула Клаузиуса-Моссотти. Электронная (атомная) поляризуемость. Ионная поляризуемость (поляризуемость смещений) и соотношение Лиддена-Сакса-Теллера. Ориентационная поляризуемость и функция Ланжевена. Поляризационная катастрофа. Сегнетоэлектричество. Теория фазовых переходов второго рода Ландау. Диэлектрическая восприимчивость в окрестности температуры сегнетоэлектрического перехода. Элементы памяти на сегнетоэлектриках (FRAM).
	11	2	Электромагнитные волны в кристаллах. Поляритоны. Поверхностный плазмон-поляритон. Фотонные кристаллы. Метаматериалы. Различия между правыми и левыми средами. Экспериментальные подходы к изготовлению метаматериалов. Электрооптические эффекты в кристаллах.
4	12	2	Основные типы магнетиков. Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнетизм локализованных электронов (парамагнетизм Кюри, парамагне-

			тизм Ван-Флека, диамагнетизм Ланжевена). Магнетизм коллективизированных (зонных) электронов (диамагнетизм Ландау, парамагнетизм Паули).
	13	2	Спонтанная намагниченность. Ферромагнетизм, антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Домены в сегнетоэлектриках и ферромагнетиках. Гистерезис и коэрцитивная сила. Теория Ландау и закон Кюри-Вейсса для магнитной восприимчивости. Микроскопическая природа ферромагнетизма. Поле Вейсса и обменное взаимодействие. Спиновые волны и магноны.
	14	2	Основы спинтроники. Доменные стенки Блоха и Нееля. Цилиндрические магнитные домены и вертикальные блоховские линии. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление. Магнитные элементы памяти с произвольным доступом (MRAM). Спинполяризованный транспорт и спиновый транзистор.
	15, 16	4	Сверхпроводимость. Нулевое сопротивление и эффект Мейсснера. Теория Гинзбурга-Ландау и квантование магнитного потока. Лондоновская глубина проникновения. Корреляционная длина. Сверхпроводники первого и второго рода, промежуточное и смешанное состояние, вихри Абрикосова. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Куперовские пары и теория Бардина-Купера-Шриффера. Сверхпроводящие магниты

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Кинетические процессы в электронном газе.
	2	2	Квантовый электронный газ.
	3	2	Приближение почти свободных электронов.
2	4	2	Колебания кристаллической решетки.
3	5	2	Квазичастицы в твёрдом теле.
	6	2	Коллоквиум
4	7	2	Диэлектрические и магнитные свойства твёрдого тела.
	8	2	Сверхпроводники.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы		Наименование работы
	№	Объем занятий (часы)	
5	1	4	Определение времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
	2	4	Исследование р-п перехода и определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости обратного тока.
	3	4	Определение характеристик структуры металл-полупроводник вольт-фарадным методом.
	4	4	Измерение вольтамперной характеристики контакта металл - полупроводник и определение по ней его электрофизических параметров.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)		Вид СРС
	№	Объем занятий (часы)	
1-4	16		Работа с конспектом лекций. Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	8		Работа с Интернет-ресурсами, базами данных и периодическими изданиями.
	32		Решение практикоориентированных задач
	12		Подготовка к опросам
	12		Подготовка к коллоквиуму
5	6		Подготовка к выполнению лабораторной работы: чтение теоретического материала, написание краткого конспекта основных теоретических сведений, изучение схемы экспериментальной установки, изучение методики выполнения работы
	6		Обработка экспериментальных результатов. Подготовка ответов на поставленные преподавателем вопросы.
	8		Написание отчёта о проделанной работе. Подготовка к защите лабораторной работы.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Выполнение курсовых работ (проектов) не предусмотрено

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Модули 1–4

1. Теоретический материал по тематике лекций и семинарских заданий
2. Список вопросов к коллоквиуму
3. Список учебной литературы
4. Методические указания студенту
5. Перечень практических задач для самостоятельного решения
6. Дополнительные материалы к дисциплине: перечень профессиональных баз данных, используемых для решения задач

Модуль 5 «Лабораторный практикум»

1. Описания лабораторных работ
2. Список контрольных вопросов
3. Список практических задач

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Горбачевич А.А., Журавлев М.Н. Физика полупроводников / М.: МИЭТ, 2017. - 136 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела : В 2-х т.: Пер. с англ. под ред. пер. М.И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Перепечатка с изд. 1978 г. - М. : Альянс, 2014. - 792 с.
4. Кардона Ю. П. Основы физики полупроводников //М.: Физматлит. – 2002. –560 с.
6. Теоретическая физика: Учеб. пособие для ун-тов: В 10-ти т.. Т. 9, Ч. 2 : Теория конденсированного состояния / Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.. - 2-е изд., испр. и доп.. - М. : Физматлит, 2000. - 494 с

Периодические издания:

1. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
2. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. : РАН, Наука, 1873 - . - URL:<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
3. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1965 - . – URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
4. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.] . – URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе: База данных параметров полупроводниковых материалов [Электронный ресурс] URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroductio.html> (дата обращения: 27.11.2020).
2. Справочная система по Matlab: документация к пакету Matlab [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mathworks.com/help/> (дата обращения: 27.11.2020).
3. Институт экспериментальной минералогии РАН: База данных кристаллических структур Института экспериментальной минералогии РАН [Электронный ресурс] URL: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/search.php?> (дата обращения: 27.11.2020).

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются технологии смешанного обучения.

Применяется модель смешанного обучения «перевернутый класс». Учебный процесс начинается с постановки проблемного задания, для выполнения которого студент должен самостоятельно ознакомиться с материалом, размещенным в электронной среде. В аудитории проверяются и дополняются полученные знания с помощью дискуссий и решения практических задач. Работа поводится по следующей схеме: СРС (онлайновая предаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (семинар или лабораторная работа с представлением и обсуждением выполненной работы, решение практических задач с опорой на результаты самостоятельной работы) - обратная связь с обсуждением и подведением итогов.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, zoom-консультации.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в системе ОРИОКС

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория		
Лаборатория физики конденсированного состояния (ауд. 4347)	Персональные компьютеры Высокочастотный анализатор полупроводников Генератор импульсный Agilent 33220A Измеритель добротности 50 кгц-35мгц ВМ-	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional

	<p>560 Комплект из 6-ти интерфейсных устройств PCI-GPIB NI-488.2 Осциллограф 2 канальный 100МГц TDS 2012B СБ E6550/iG33/1024MB/250G/CF7300/266/DESK TOP/ms Вольтметр Agilent 34405A Вольтметр Agilent 34411A Вольтметр универсальный В7-30 Измеритель RCL Измеритель добротности ВМ-560 Измеритель цифровой Е7-12 Источник питания Agilent E3634A Источник питания 0-30 В, 0-5А GPR-3060D Источник питания 0-30 В, 0-3А Б5-47 Цифровой мультиметр Agilent 34405А Источник питания Agilent 6645А</p>	<p>Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC</p>
<p>Помещение для самостоятельной работы обучающихся</p>	<p>Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ</p>	<p>Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC</p>

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции ПК-1.ФКС «Способен строить физические и математические модели электромагнитных и тепловых процессов в конденсированных средах, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники».
2. ФОС по подкомпетенции ПК-2.ФКС «Способен определять электронные параметры конденсированных сред, используемых при создании элементов и приборов нанoeлектроники, по полученным результатам экспериментальных измерений».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Изучение материала дисциплины происходит во время лекционных занятий, семинарских занятий, лабораторных работ и в ходе самостоятельной работы. Посещение лекций, семинаров и лабораторных работ обязательно.

Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся преподавателем еженедельно, их посещать необязательно.

Цель лекций, семинаров – обучение базовым знаниям и умениям. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Лектор предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему лекции, которая читалась на неделе, предшествующей консультации.

На семинарах, проводимых в диалоговом режиме, студенты получают специальные знания, умения и опыт деятельности посредством разбора и решения модельных задач. Модельная задача представляет собой упрощённое представление изучаемых процессов, допускающее относительно простую математическую формализацию. Характерной особенностью семинарского занятия является обсуждение со студентами применимости физических законов, математических выкладок и возникающих в процессе решения задачи сложностей.

Для приобретения опыта деятельности по будущей профессии, в течение семестра для самостоятельно разбора и изучения выдаются практикоориентированные задачи. Каждая задача представляет собой миниатюрную исследовательскую проблему, а процесс её решения моделирует научно-исследовательскую работу. Как показывает практика, наибольшую трудность при решении представляет формализация условия, т. е. перевод информации с русского языка на язык математических законов, формул и отношений. В данном случае, для облегчения поиска ответа необходимо научить студентов отбрасывать несущественные детали условия, пользоваться упрощёнными моделями и схемами, опираться на известные физические законы.

Выполнению лабораторной работы предшествует предварительная подготовка, в ходе которой необходимо изучить теоретический материал по тематике лабораторной работы и разобрать схему проведения эксперимента. К выполнению работы допускается студент, продемонстрировавший знания объекта исследований, методики проведения экспериментов и имеющий заготовленные заранее формы представления экспериментальных результатов. Лабораторные работы проводятся, как правило, в интерактивном режиме при работе в малых группах и диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения исследований и при защите полученных результатов. По окончании каждой лабораторной работы проводится обсуждение и защита результатов выполнения работы с каждым студентом.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (суммарно 60 баллов) и сдача экзамена (40 баллов).

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИКИ:

Доцент каф. КФН, к. ф.-м. н.



/Журавлёв М. Н. /

Рабочая программа дисциплины «Физика конденсированного состояния» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и наноэлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и наноэлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН



/А. А. Горбачевич/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки _____



/ Т.П.Филиппова /